

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Die diskrete Fourier-Transformation in der Signalverarbeitung — 1</b>
1.1	Einführung — 1
1.2	Die DFT und die Fourier-Reihe — 1
1.2.1	Amplituden- und Phasenspektrum — 3
1.2.2	MATLAB-Berechnung des Amplituden- und Phasenspektrums des periodischen rechteckigen Signals — 7
1.2.3	Leistung eines periodischen Signals — 11
1.2.4	Annäherung der Fourier-Reihe mit Hilfe der DFT — 12
1.2.5	Die DFT eines Intervalls mit mehreren periodischen Signalen — 17
1.2.6	Der Leckeffekt ( <i>Leakage-Effect</i> ) — 33
1.2.7	Simulation der Messung der Auflösung von A/D-Wandlern mit Hilfe der FFT — 44
1.2.8	Gleichmäßige Abtastung als Ursache der Mehrdeutigkeit zeitdiskreter Signale — 50
1.2.9	Ton-Aliasing Experiment — 56
1.2.10	DFT-Untersuchung eines rechteckigen Signals — 59
1.3	Die DFT und die Fourier-Transformation kontinuierlicher Signale — 62
1.3.1	Das Fourier-Spektrum — 63
1.3.2	DFT-Annäherung der Fourier-Transformation zeitkontinuierlicher Signale — 68
1.3.3	Parseval-Theorem — 69
1.3.4	Einige Beispiele für die Ermittlung der Fourier-Transformation mit Hilfe der DFT — 71
1.3.5	Erweiterung eines Signals mit Nullwerten — 79
1.3.6	Die Faltung kontinuierlicher Signale und ihre Fourier-Transformation — 86
1.4	Die DFT und die Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale — 92
1.4.1	Darstellung der zeitdiskreten Signale — 93
1.4.2	Die DTFT der Abtastwerte abhängig vom Spektrum des kontinuierlichen Signals — 97
1.4.3	Die Fourier-Transformation eines abgetasteten Ausschnittes einer Cosinusfunktion — 101
1.4.4	Spektrum des Signals am Ausgang eines D/A-Wandlers — 104
1.5	Die DFT und die spektrale Leistungsdichte zufälliger Signale — 116
1.5.1	Zufallsvariablen — 116
1.5.2	Nichtstationäre, stationäre und ergodische Zufallsprozesse — 119
1.5.3	Die spektrale Leistungsdichte zufälliger Signale und ihre Annäherung über die DFT — 122

1.5.4	Beispiel für die Schätzung der spektralen Leistungsdicht mit Hilfe der DFT — 128
1.5.5	Beispiel für die Schätzung der spektralen Leistungsdicht mit Hilfe der DFT über die Autokorrelationsfunktion — 134
<b>2</b>	<b>Lineare zeitinvariante Systeme — 139</b>
2.1	Einführung — 139
2.2	Systeme und deren Klassifizierung — 139
2.2.1	Systeme ohne und mit „Gedächtnis“ — 139
2.2.2	Kausale und nicht kausale Systeme — 140
2.2.3	Lineare Systeme — 141
2.2.4	Zeitinvariante Systeme — 141
2.2.5	Stabile Systeme — 142
2.3	Zeitkontinuierliche Systeme beschrieben durch Differentialgleichungen — 142
2.3.1	Homogene Lösung — 144
2.3.2	Stabilität der Systeme beschrieben durch Differentialgleichungen — 146
2.3.3	Partikuläre Lösung — 148
2.3.4	Lösung der Differentialgleichung der RLC-Reihenschaltung — 150
2.3.5	Linearität und alternative Zerlegung der Lösung — 158
2.3.6	Die Impulsantwort und das Faltungsintegral für LTI-Systeme — 162
2.3.7	Schätzung der Übertragungsfunktion eines mechanischen Systems — 170
2.3.8	Einführung in die Laplace-Transformation — 177
2.3.9	Laplace-Transformation der gewöhnlichen Differentialgleichungen — 180
2.3.10	Eigenschaften der Laplace-Transformation — 181
2.3.11	Die Laplace-Transformation und die Fourier-Transformation — 182
2.3.12	Berechnung der Übertragungsfunktionen elektrischer Schaltungen — 183
2.3.13	Übertragungsfunktionen eines mechanischen Systems — 192
2.4	Analoge Filter — 196
2.4.1	Einführung — 197
2.4.2	Simulation eines Antialiasing-Filters — 211
2.4.3	Null- und Polstellen der Filter — 218
2.5	Zeitdiskrete zeitinvariante Systeme — 225
2.5.1	Differenzengleichung für zeitinvariante zeitdiskrete Systeme — 225
2.5.2	Die Faltungssumme — 229
2.5.3	Komplexer Frequenzgang aus der Differenzengleichung — 231
2.5.4	Homogene Lösung der Differenzengleichung — 236
2.5.5	Zustandsmodelle für zeitinvariante zeitdiskrete Systeme — 239

2.5.6	Die z-Transformation der Differenzengleichungen — 241
2.5.7	Frequenzgang für LTI-Systeme beschrieben durch Differenzengleichungen — 243
<b>3</b>	<b>Digitale Filter — 247</b>
3.1	Einführung in digitale Filter — 249
3.2	Entwurf und Analyse der FIR-Filter mit linearen Phasengang — 263
3.2.1	Entwurf der FIR-Filter mit linearer Phase über das Fensterverfahren — 275
3.2.2	Entwurf der FIR-Filter durch Abtastung des gewünschten Frequenzgangs — 281
3.2.3	FIR-Filterentwurf basierend auf iterativen Optimierungstechniken — 287
3.3	Der Einfluss der Welligkeit digitaler FIR-Filter — 297
3.3.1	Das Vor- und Nachecho wegen der Welligkeit im Durchlassbereich eines FIR-Tiefpassfilters — 301
3.4	FIR-Filter mit inversem Sinc-Verhalten — 306
3.5	Hilbert-FIR-Filter — 312
3.5.1	Simulation einer Übertragung mit SSB-Modulation — 322
3.5.2	Hilbert-Filter in der Energietechnik — 330
3.6	Entwurf und Analyse der IIR-Filter — 332
3.6.1	Einführung — 332
3.6.2	Klassischer Entwurf der IIR-Filter — 334
3.6.3	IIR-Filterentwurf direkt im Frequenzbereich — 342
3.7	Strukturen digitaler Filter — 344
3.7.1	Die direkte Form der FIR-Filter — 344
3.7.2	Strukturen für FIR-Filter mit linearer Phase — 345
3.7.3	Strukturen für IIR-Filter — 346
3.8	IIR Allpass-Filter — 351
3.8.1	Kompensation der nichtlinearen Phase eines IIR-Filters mit Hilfe eines Allpass-Filters — 352
3.8.2	Zerlegung eines IIR-Filters in zwei Allpass-Filter — 355
3.9	<i>Lattice-</i> oder Gitter-Strukturen — 358
3.9.1	Gitter-Struktur für ein MA-System — 358
3.9.2	Gitter-Struktur für ein FIR-Prädiktionsfilter — 364
3.9.3	Gitter-Struktur für IIR-Filter — 368
3.10	Nullphase-Filter — 369
3.11	Das Savitzky-Golay-Glättungsfilter — 374
3.11.1	Glättung eines Spektrums mit dem Savitzky-Golay Filter — 379
3.12	Cosinus-Roll-off-Filter — 383
3.12.1	Das Root-Raised-Cosine-Filter — 388
3.13	Zusammenfassung und Ausblick — 392

<b>4</b>	<b>Multiraten-Signalverarbeitung — 394</b>
4.1	Einführung — 394
4.2	Dezimation mit einem ganzzahligen Faktor — 394
4.2.1	Untersuchung des Abwärtstasters für die Dezimierung — 396
4.3	Interpolation mit einem ganzzahligen Faktor — 404
4.3.1	Simulation einer Interpolation — 407
4.4	Dezimation und Interpolation in mehreren Stufen — 411
4.4.1	Simulation einer Interpolation in zwei Stufen — 413
4.4.2	Änderung der Abtastrate mit einem rationalen Faktor — 416
4.4.3	Filterung von Bandpasssignalen mit sehr kleiner Bandbreite — 419
4.5	Dezimierung und Interpolierung mit Polyphasenfiltern — 425
4.5.1	Dezimierung mit Polyphasenfiltern — 427
4.5.2	Interpolierung mit Polyphasenfilter — 430
4.6	<i>Off-Line</i> Interpolierung mit Hilfe der FFT — 433
4.7	Interpolierung mit Lagrange-Filter <i>intfilt</i> — 437
4.8	<i>Fractional Delay</i> Filter — 442
4.8.1	Definition der <i>Fractional Delay</i> Filter — 443
4.8.2	Entwurf von <i>Fractional-Delay</i> -Filter über mathematische Interpolation — 450
4.8.3	Verzögerung mit einem Farrow-Filter — 454
4.8.4	Abtastfrequenzänderung mit einem Farrow-Filter — 457
4.9	Entwurf der <i>Interpolated-FIR</i> Filter — 461
4.10	Dezimierung und Interpolierung mit IFIR-Filtern — 468
<b>5</b>	<b>Hinweise zu MATLAB und Simulink — 472</b>
5.1	Der Umgang mit den MATLAB-Objekten — 473
5.2	Hinweise zu Simulink — 478
5.2.1	Die neuen Möglichkeiten des <i>Scope</i> -Blocks — 478
5.2.2	Der <i>Spectrum Analyser</i> -Block — 481
5.3	<i>Sample-</i> und <i>Frame</i> -Daten — 485
<b>Literaturverzeichnis — 495</b>	
<b>Index — 497</b>	